

論文 Article

コンクリート表面の仕上がり状態における評価指標の構築に関する一考察

原稿受付 2013年3月30日

ものづくり大学紀要 第4号 (2013) 45~52

荒巻卓見^{*1}, 大塚秀三^{*2}, 高橋宏樹^{*2}, 三井実^{*3}, 中田善久^{*4}, 赤谷樹一郎^{*1}^{*1}ものづくり大学大学院 ものづくり学研究科 ものづくり学専攻^{*2}ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科^{*3}ものづくり大学 技能工芸学部 製造学科^{*4}日本大学 理工学部 建築学科

A Study on The Evaluation Indexes of Finishing of Concrete Surface

Takumi ARAMAKI^{*1}, Shuzo OTSUKA^{*2}, Hiroki TAKAHASHI^{*2}, Minoru MITSUI^{*3},
Yoshihisa NAKATA^{*4} and Kiichiro AKATANI^{*1}^{*1} Graduate School, Dept. of Technologists, Institute of Technologists^{*2} Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists^{*3} Dept. of Manufacturing Technologists, Institute of Technologists^{*4} Dept. of Architecture, College of Science and Technology, Nihon University

Abstract

This paper showed the concept of evaluation index to the visual element in the finishing of concrete surface. As a final objective, it is construction of the quantitative quality control system by the image analysis of principally uneven color and surface foam. The image analysis program can evaluate a color tone besides uneven color quantitatively, and there are a sensuality evaluation and correlation. For this reason, we thought that construction advances smoothly by this quantitative quality control system.

Key Words : Finishing of Concrete Surface, Uneven Color, Surface Foam, Image Analysis, Sensory Assessment, Quality Control System

1. はじめに

コンクリート素地仕上げの一つであるコンクリート打放し平滑仕上げ(以下, 打放しコンクリートとする)は, 仕上げ面としてコンクリートの素地をそのまま用いるため, 躯体としての品質は無論のこと, 仕上げ材料としての視覚的な仕上がり状態が重要な要素であることは論を待たない. コンクリート表面の仕上がり状態とは, 広義な意味で Fig. 1 に示すような施工不良に起因して発生する不具合だけでなく, 適切な施工を行っても色調, 色む

らおよびテクスチャーなど制御が困難である視覚的な要素が含まれる. しかしながら, 仕上がり状態に関する評価指標とその評価方法が明確に示されていないのが実状である. 例えば, JASS 5¹⁾では, コンクリート表面の仕上がり状態を規定する要素について記述されているものの, 平坦さの基準を除いて定量的な判断基準は明記されていない. 一般的に打放しコンクリートとする場合は, 設計図書の様書に「コンクリート打放し補修」と明示され, 詳細な要求性能は特記仕様書によって示されるが, その多くは JASS 5 に準ずるとの記述で

あり、要求される仕上がり状態が定量的に示されることは極めて少ない。

それ故に、Fig. 1 に示すような豆板やコールドジョイントなどは、一見して不具合と認識でき補修すべきものと判断されるが、コンクリートの色むらやテクスチャーなどの良否に関する判断は、観察者の主観に委ねられることになり、ユーザ、施工監理者および施工管理者の立場による認識が完全に一致を見ない場合には、その補修の是非について齟齬が生じてくる。特に、プレキャストコンクリート製品(以下、PCa 製品とする)などは、その最たるものである。

PCa 製品の製造メーカーを対象とした製造過程での表面仕上がり状態の管理に関する既往の調査²⁾では、社内基準の有無の差違はあるものの、仕上がり状態に関して目視評価、すなわち管理者の主観に委ねられる品質管理を行っていることが示されている。一方で、(社)日本コンクリート工学協会の報告書³⁾によれば、PCa 製品に対する購入者からのクレームは、表面気泡および色むらが最上位を占めており、構造的な品質に大きな影響は無いにも関わらず、これらの補修に多大な労力や費用を要する状況にある。このことから、コンクリート表面の仕上がり状態を評価する指標を明示することが極めて有効と考えられる。

そこで、本報告は、打放しコンクリート表面の仕上がり状態を規定する視覚的な要素について、定量的な評価と官能評価による感覚量を複合した評価方法を確立し、最終的には、関係者間の合意形成に基づく仕上がり状態の品質管理システムを構築することを目的としたものである。

ここでは、打放しコンクリート表面の仕上がり状態を規定する要素の一因である“色むら”を主眼とし、画像解析による定量的な評価方法と官能検査による評価尺度との関係について示し、この評価方法を用いたコンクリート表面の仕上がり状

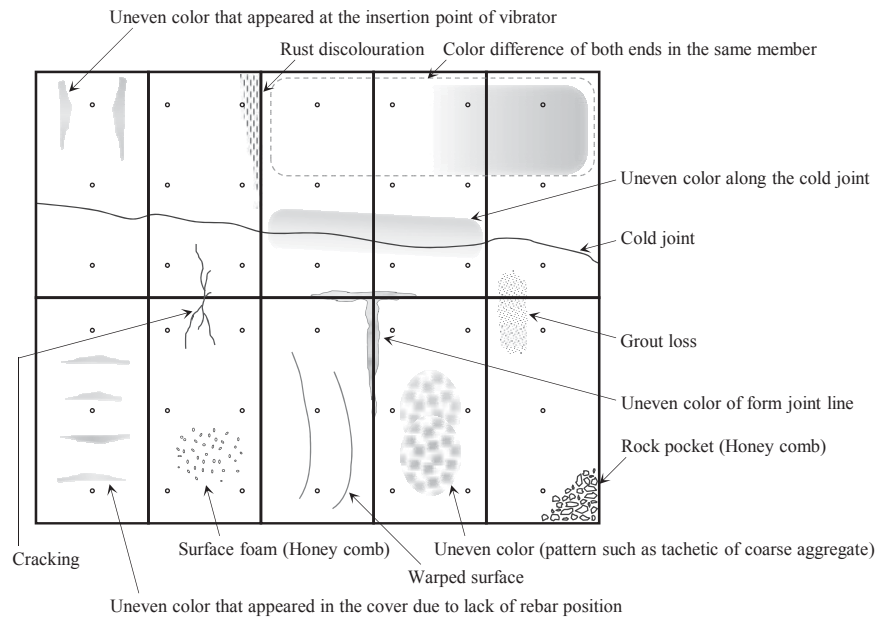


Fig. 1 Image of Finishing of concrete surface

態における品質管理システムのあり方について述べる。

2. コンクリート表面の仕上がり状態を規定する視覚的要素および評価指標

打放しコンクリート表面の仕上がり状態を規定する視覚的な要素には、色調、色むら、表面気泡および光沢度が挙げられる。この他にも、形状および造形に起因する要素、例えば、型枠目違いやはらみ出しなど躯体の施工精度も関係すると考えられるが本報告では対象としない。

色彩値、色むら、表面気泡および光沢度に対する評価は、観察距離の遠近により観察できる範囲が変化するため、観察距離を考慮した評価が必要と考えられる。これらのうち、“色むら”を例として、観察距離の相違による打放しコンクリート表面の色むらのパターン例を Fig. 2 に示す。ここでは、色むらのパターンを大別して4つに分類した。

- ①均一分散型：色の濃淡の差異がほとんど無く均質な仕上がり面(色むらがほとんどなく一般的に美しいとされる仕上がり面)
- ②不均一分散型：色の濃淡の差異がはっきりと判別でき斑状の粗骨材のような模様で分散した仕上がり面

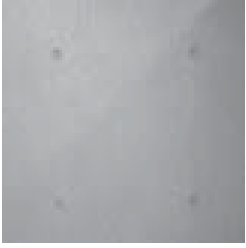
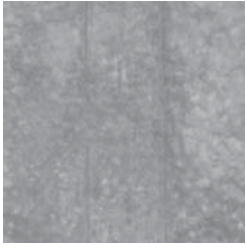
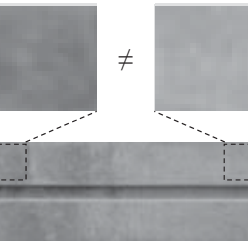
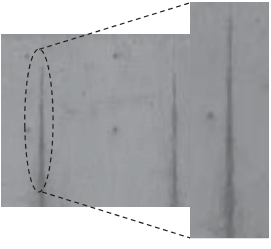

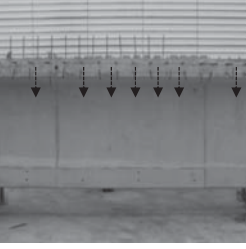

Uneven color condition	Almost no uneven color	tachetic pattern such as coarse aggregate	Color difference of both ends in the same member
pattern classification of uneven color	Uniformly dispersed Type	Ununiformly dispersed Type	Differing allo-point Type
Observation distance Near ← → Distant	← →	←	→
Exemplar (photograph)			
Uneven color of form joint line	Uneven color along the cold joint	Uneven color that appeared at the insertion point of vibrator	Uneven color that appeared in the cover due to lack of rebar position
Local Type			
	←	←	←
			
			

Fig.2 Distance that can be recognized as an example for uneven color pattern of the concrete surface

Table 1 Tentative of Evaluation Indexes

Evaluate target surface and observance distance	Different surface (long distance)	Same surface (long distance)	Same surface (short distance)		
			Color tone, Uneven color	Surface foam	
Evaluate item	Color tone		Color tone, Uneven color	Surface foam	Gloss
Evaluate method	Image analysis using the		image photograph of the digital camera		Gloss meter
Evaluate scale	<ul style="list-style-type: none"> Average difference of luminance Color difference (ΔE^*ab) 		< Color tone > <ul style="list-style-type: none"> Average difference of luminance Color difference (ΔE^*ab) < Uneven color > <ul style="list-style-type: none"> Standard deviation of luminance 	<ul style="list-style-type: none"> Area rate occupied by the foams in the target surface Distribution of foam size 	Average difference of Gloss

- ③大局差異型：寸法および面積の大きな部材あるいは面における離れた部位において色に差がでた仕上がり面
 - ④局所型：部分的に突出した色むらを生じている仕上がり面
- 上記の色むらのパターンは、②および④のように比較的近距离から明確に判断できる場合と、③のように離れた距離でしか判断できない場合に、分けて捉えることができる。一方、表面気泡は、観察距離が比較的近距离の場合のみ認識され、光沢度は表面に接触することによってのみ評価が可能である。よって施工管理を考慮した場合に、対

象物の仕上がり状態のパターンによりそれぞれの評価項目について適切な観察距離を定める必要があるといえる。

以上を踏まえて、打放しコンクリート表面の視覚的な仕上がり状態を規定する要素として色彩値、色むら、表面気泡および光沢度を評価項目とした場合の対象面および観察距離に応じた評価指標の試案を Table 1 に示す。本報告では、比較的近距离において認識できる色彩値、色調および表面気泡に主眼を置き、その評価方法と品質管理システムについて論じる。なお、視覚的な仕上がり状態を規定する要素の色彩値および色むら进行评估する

方法として、以前から JIS Z 8729 : 2004 「色の表示方法— $L^*a^*b^*$ 表色系および $L^*u^*v^*$ 表色系」により分光測色計を用いた、局所的な測定による評価が行われることが一般的であったが、色むらの集合体であるコンクリート表面は、面的な評価が不可欠である。

3. 画像解析によるコンクリート表面の色むらの評価方法

前章で述べたように、コンクリートは均質材料ではないために、その程度は異なるものの色むらの集合体であるといえ、対象範囲全体の面としての評価が不可欠となる。そこで、北垣らの提案した方法⁴⁾を参考として、簡便かつ即時的に定量的な判断が可能な方法として、コンクリート表面を市販のデジタルカメラにより撮像した画像の全画素の色彩情報を抽出し、その統計値によって評価できる画像解析プログラムを作成した。なお、本手法に付与する機能は、コンクリート表面の色彩値、色むらおよび表面気泡の検出であるが、現時点で表面気泡については開発中であり全ての機能を満足するには至っていないため、以降は、本手法を用いた色むらの評価方法についてのみ論じることとする。

3. 1 評価方法の概要

評価対象は、打放しコンクリートの試験体 (W300×H300×D200mm) とした。使用したデジタルカメラの仕様を Table 2、試験体の撮像条件を Fig. 3、撮像画像の一例を Photo 1 に示す。撮像画像は、試験体における表面色あるいは光の照射条件により、デジタルカメラのホワイトバランス機能によって自動的に白色調整されるため、画像ごとに明暗の差が生じる可能性がある。また、ホワイトバランス機能を使用しない場合でも同様である。そこで、これらの影響を排除するため、試験体のほかに白色および黒色のサンプルを写し込み、明度レベルの調整の基準とし、異なる撮像環境下においても対応できるものとした。また、解析対象とした画像の解像度は 72dpi とし、Fig. 4 に示すフローで画像解析プログラムに取り込み、白色および黒色サンプルにより明度を補正し、任意の解

Table 2 Specifications of camera

Items	Specifications	
Camera	Type	Digital single lens reflex
	Model name	KISSDNS
	Pixel	8 millions
	Lens	Fixed focal length 30mm Angle of view 45°
Shooting condition	Size	3,456×2,304
	Mode	Auto focus, Manual white balance
	F-number	4.5
	Shutter speed	Auto
	Flash	None

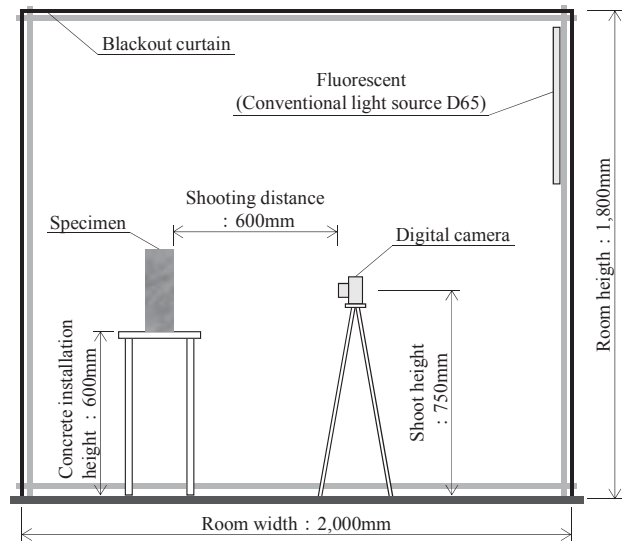


Fig. 3 Shooting condition of the specimen

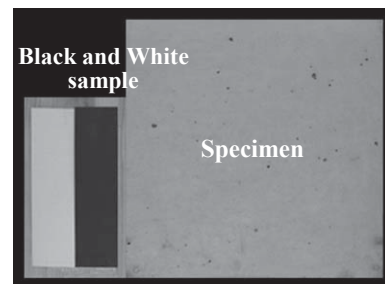


Photo 1 An example of the imaging photograph

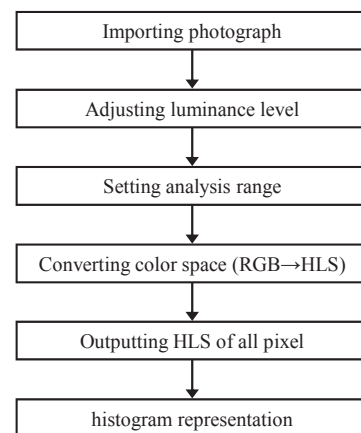


Fig. 4 Flow of image processing

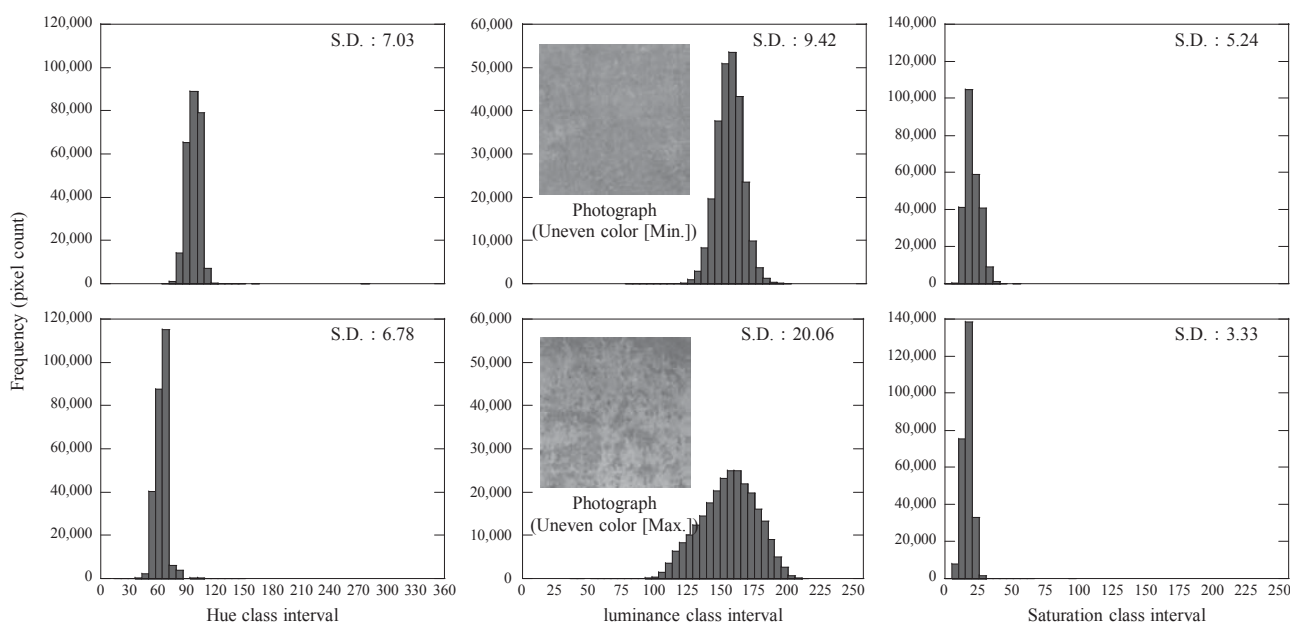


Fig. 5 Histogram of HLS color space

析範囲内の全画素における色彩情報の RGB データを H(色相, 359 階調), L(明度, 255 階調), S(彩度, 255 階調)色空間へと変換し抽出する。

なお、コンクリートの表面色は無彩色に近いので、色相(赤, 黄, 緑, 青といった色合い)および彩度(鮮やかさ)ともに乏しく、これらの色彩情報から色むらを捉えることが困難である反面、明度と色むらに相関があり、画素ごとのばらつきによって色むらの程度をよく捉えられると考えられる。よって、その明度の分布をヒストグラム化し、標準偏差の大小(大:色むらの程度が大きい, 小:色むらの程度が小さい)により評価する。

3. 2 画像解析結果の検証

画像解析プログラムにより抽出される全画素の明度を用いた評価の妥当性を検証するために、目視により色むらの程度に大きな差のある試験体 2 つを選択し、本手法により得られた色彩情報, H(色相), L(明度)および S(彩度)の分布傾向について比較した。

HLS 色空間によるヒストグラムを Fig. 5 に示す。H(色相)および S(彩度)の分布は、いずれの試験体においても極小の階調範囲に集約され、標準偏差にもほとんど差が見られない。このことから、H(色相)および S(彩度)を用いた評価は、コンクリート表面の色むらを表現するのに不相当であることが分かる。一方、L(明度)の分布は、概ね正規分

布であり、標準偏差の大小が色むらの程度に合致しており、目視による認識と近い傾向にあるといえる。

以上のことから、コンクリート表面の色むらを明確に捉えるには、対象範囲全体の明度分布を標準偏差の大小で評価することが適切であると考えられる。

4. 画像解析による色むらの定量値と官能検査による色むら評価尺度の関係

前章では、デジタルカメラによる打放しコンクリート表面の撮像画像を用いた画像解析プログラムにより抽出した明度の標準偏差によって、色むら进行评估できる可能性を示したが、どの程度の標準偏差であれば観察者が色むらと認識するか定かではない。そこで、平均明度および明度の標準偏差が異なる試験体の色むら評価尺度との関係について基礎的な知見を得るために官能検査により検討した。

4. 1 明度の標準偏差と色むら評価尺度の関係

検査試料は、色むらの異なる試験体(W300×H300×D200mm)26 体とした。検査方法は、Fig. 3 に示す試験体の撮像方法と同一の条件下において、系列範囲ちゅう法を用い「色むらの程度」について 5 段階(5:非常にある, 4:若干ある, 3:どちら

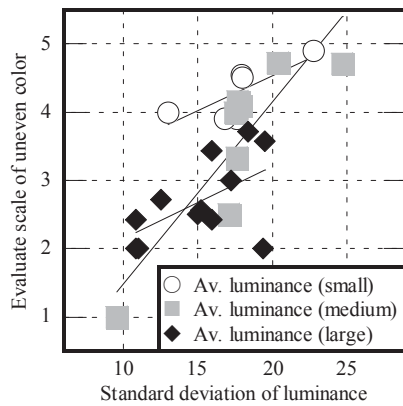


Fig. 6 Relationship between standard deviation of the luminance and evaluate scale of uneven color

でもない、2:あまりない、1:全くない)の判断範囲による絶対判断とした。検査結果は、判断範囲を1~5の範囲で数値化しその平均値を色むらの評価尺度として用いた。また、検査員は20歳代の男女10名(男9名、女1名)とした。

明度の標準偏差と色むら評価尺度の関係を Fig. 6 に示す。図中において、試験体の平均明度を120~146(小), 147~173(中), 174~200(大)と3つに大別して示した。明度の標準偏差と平均明度が同程度の試験体であっても若干のばらつきが見られるものの、いずれの平均明度とも全体に正の相関を示した。平均明度の違いによる影響は、同程度の標準偏差であっても、平均明度が大きくなるほど色むら評価尺度は小さくなる傾向にあり、平均明度の大小が色むら評価尺度に少なからず影響するものと考えられる。

4. 2 平均明度および明度の標準偏差と色むら評価尺度の関係

検査試料であるコンクリート表面の仕上がり状態における平均明度および色むらの程度を任意に変化させることは困難であることから、画像編集により調整した印刷画像を用いることとした。検査試料の違いにおける明度の標準偏差と色むら評価尺度の関係を Fig. 7 に示す。いずれの標準偏差においても実物の試験体と印刷画像にほとんど差異は見られないことから、印刷画像を検査試料としても差し支えないものと考えた。

明度の標準偏差ごとの平均明度と色むら評価尺度の関係を Fig. 8 に示す。明度の標準偏差が同一

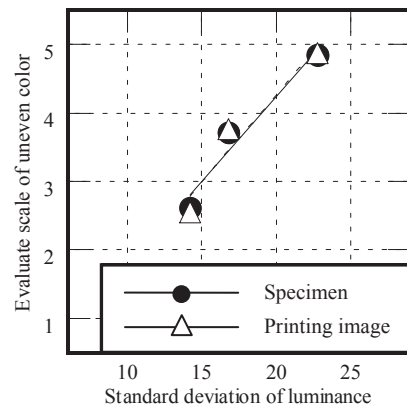


Fig. 7 Relationship between the standard deviation of the luminance and evaluate scale of uneven color of the difference in the test sample

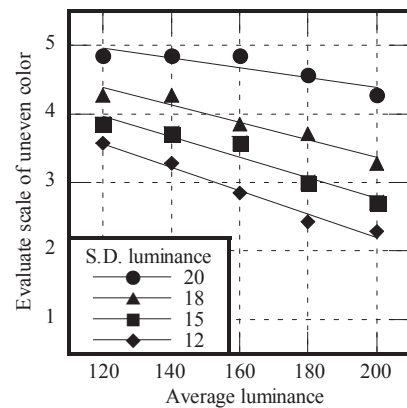


Fig. 8 Relationship between average luminance and evaluate scale of uneven color of standard deviation of the

の場合における色むら評価尺度は、平均明度が大きくなるにつれて小さくなる傾向にあった。一方、明度の標準偏差を変化させた場合には、明度の標準偏差が小さく、かつ平均明度が大きくなると色むら評価尺度が小さくなり、色むらと認識する度合いが低下する傾向を示した。

これらから、色むら評価尺度の評価指標として、平均明度のほかに明度の標準偏差を加味して検討する必要があるといえる。

5. 打放しコンクリート表面の仕上がり状態に関する品質管理システムの試案

前章では、コンクリート表面の色むらに関する定量的評価方法に主眼を置き概説した。これを、色調、色むらおよび表面気泡に限定して、実際の現場打ちコンクリートおよびPCa製品における表

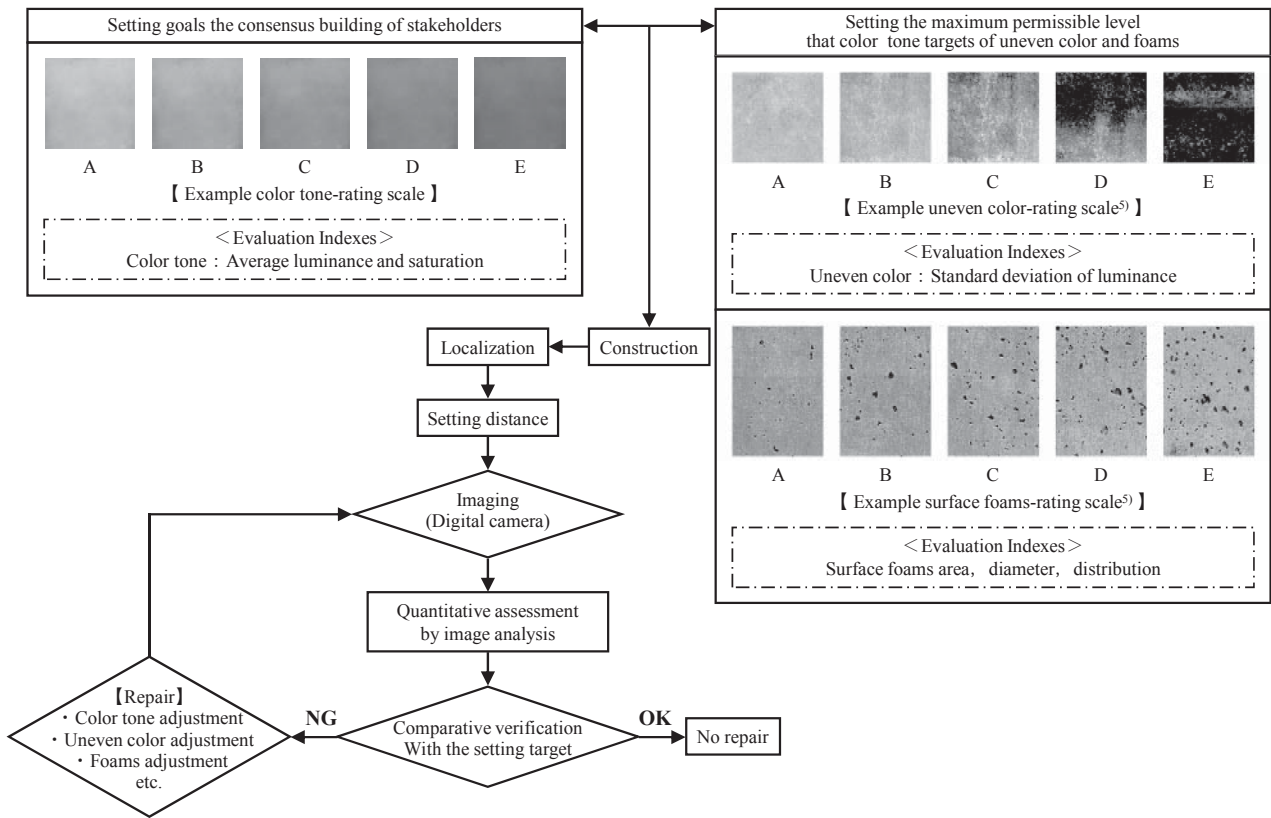


Fig. 9 The tentative of the quality control system about the finishing of concrete surface based on a quantitative evaluation

面仕上がり状態の品質管理に適用した場合の試案を示し、そのあり方について述べる。

定量的評価に基づくコンクリート表面の仕上がり状態に関する品質管理システムの試案を Fig. 9 に示す。まず、施工前に仕上がり状態における色調(濃淡)の目標をユーザ、施工監理者および施工管理者間の合意に基づき設定する。また、目標とした色調ごとに仕上がり状態における色むらおよび表面気泡の分布状態の程度に関する許容限度を、色調と同様に関係者間の合意に基づき設定する。例えば、柏木⁵⁾が示した仕上がり状態のレイティングスケールにより具体的な目標を定めることで、仕上がり状態に関する認識の齟齬が低減できる。これについては、すでにニュージーランドの規格⁶⁾において、施工に着手する前に施工管理者によって Sample Reference Panel(S.R.P.)が作成され、仕上がり状態の具体的な目標として発注者と事前に合意形成を図っている例も見られる。次に、コンクリート表面の仕上がり状態に関して、評価する部位と撮像距離を設定し、前述したデジタルカメラの撮像画像を用いた画像解析による評価で得ら

れた定量値と、目標としたレイティングスケールとの比較・検証を行う。これに合致しない場合には、要求された仕上がり状態となるように補修を施す。なお、撮像距離に関しては、画像解析による定量値と官能検査による感覚量の関係に距離が及ぼす影響について検討し、その相関性が得られる観察・撮像距離の範囲を把握することで上限を定める必要がある。

以上のようなコンクリート表面の仕上がり状態の品質管理システムを用いることで、現場打ちコンクリートおよびPCa製品の視覚的な仕上がり状態に関して関係者間での認識の齟齬を解消できるとともに、フェアな合意形成が可能となり円滑な工事の進行に寄与するものと考えられる。

6. 今後の展望

本報告は、打放しコンクリート表面の仕上がり状態における視覚的な要素の品質管理システムを構築することを最終目的として、評価指標のあり方について考察した。これにより、抽出された今

後の検討課題を以下に示す。

6. 1 画像解析による定量評価

現状における画像解析プログラムは、コンクリート表面の視覚的な仕上がり状態を構成する要素のうち、色むらに主眼を置き、対象範囲の全画素の明度の標準偏差による検討に留まっている。そのため、色むらの分布状態などによって画像解析による色むらの度合は同程度でも、目視で捉える感覚とは若干異なる可能性が懸念される。よって、明度の標準偏差による評価に加え、色むらの分布状態を表現できる空間周波数および2次元フーリエ変換などによる色むらの定量化の是非を検討する。また、画像解析による定量値に影響を及ぼす要素として、表面気泡の検出機能についても付与する。

6. 2 画像解析による色むらの定量値と官能評価を複合した評価尺度の検討

4章における、画像解析による色むらの定量値と官能検査による色むら評価尺度の関係は、本報告における限定的な条件下での結果に過ぎず、実際の現場打ちコンクリートやPCa製品を対象に行ったものではない。そのため、撮像・観察条件における観察距離や対象とする面による面積効果、光環境などの影響が考慮されていない。今後の検討課題として、前述の複雑に関連する影響要因の整理を行い、これらを考慮した画像解析による定量値と官能評価の相関性を見出し、仕上がり状態の評価尺度に加味する必要がある。

謝 辞

本研究は、平成24年度公益財団法人LIXIL住生活財団研究助成金(研究代表者：高橋宏樹教授、共同研究者：大塚秀三准教授、三井実講師)により実施した。実験に際して、ものづくり大学大塚研究室および日本大学中田研究室の卒研究生より助力を得た。ここに記して謝意を表す。

文 献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説，JASS 5 鉄筋コンクリート工事，pp.163-164，2009
- 2) 大塚秀三，中田善久，藤井和俊，西本好克：プレキャストコンクリート製品における表面仕上がり状態の美観性に対する意識調査，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.1，pp.1693-1698，2009
- 3) プレキャストコンクリート製品の設計と利用研究委員会報告書，(社)日本コンクリート工学協会，2009.8
- 4) 北垣亮馬，兼松学，野口 貴文：2次元フーリエ変換による打放しコンクリート視覚情報の定量的評価に関する研究，日本建築学会構造系論文集，No.597，pp.33-38，2005.11
- 5) Standards Association of New Zealand：NZS 3114 Specification for Concrete Surface Finishes，1987